

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19120051301861

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

锂离子电池正极材料磷酸铁锂制备
及反应动力学研究

Synthesis and Reaction Kinetic Study of LiFePO_4 as a Cathode
Material for Lithium Ion Battery

陈赞华

指导教师姓名: 杨 勇 教授

专 业 名 称: 物 理 化 学

论文提交日期: 2008 年 8 月

论文答辩时间: 2008 年 8 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(杨勇教授)课题组的研究成果,获得(杨勇教授)课题组经费或实验室的资助,在固体表面物理化学国家重点实验室完成。

声明人(签名): 陈赞华

2008 年 8 月 26 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：陈赞华

2008 年 8 月 26 日

目 录

| | |
|---|-----|
| 中文摘要 | I |
| 英文摘要 | III |
| 第一章 绪 论 | 1 |
| 1.1 锂离子电池简介 | 1 |
| 1.1.1 锂离子电池的发展历程 | 1 |
| 1.1.2 锂离子电池的工作原理和特点 | 2 |
| 1.2 锂离子电池材料 | 3 |
| 1.2.1 负极材料 | 4 |
| 1.2.2 电解质 | 5 |
| 1.2.3 正极材料 | 6 |
| 1.3 聚阴离子型锂离子电池正极材料研究进展 | 10 |
| 1.3.1 聚阴离子型正极材料的结构和性能特点 | 10 |
| 1.3.2 聚阴离子型正极材料的研究现状 | 12 |
| 1.4 磷酸铁锂正极材料研究进展 | 17 |
| 1.4.1 LiFePO_4 的结构与特点 | 17 |
| 1.4.2 LiFePO_4 充放电机理和锂离子嵌脱机理 | 18 |
| 1.4.3 LiFePO_4 的合成 | 20 |
| 1.4.4 LiFePO_4 的改性研究 | 22 |
| 1.5 本论文的研究目的及主要内容 | 25 |
| 参考文献 | 26 |
| 第二章 实验和仪器方法 | 34 |
| 2.1 材料的合成 | 34 |
| 2.1.1 LiFePO_4 材料的合成 | 34 |
| 2.1.2 碳包覆材料的合成 | 35 |
| 2.2 材料物理化学性质的表征 | 35 |
| 2.2.1 结构的表征 | 35 |
| 2.2.2 形貌的测定 | 36 |
| 2.2.3 碳元素的分析 | 37 |
| 2.2.4 傅立叶变换红外光谱技术 (FTIR) | 37 |
| 2.2.5 X射线光电子能谱技术 (XPS) | 38 |
| 2.3 材料电化学性能的测定 | 38 |
| 2.3.1 电极的制备 | 38 |
| 2.3.2 电池的组装 | 39 |
| 2.3.3 充放电测试 | 40 |
| 参考文献 | 40 |
| 第三章 LiFePO_4 正极材料的制备与表征 | 41 |
| 3.1 引言 | 41 |
| 3.2 LiFePO_4 正极材料合成条件的优化 | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.1 不同烧结温度下合成的 LiFePO_4 材料 | 41 |
| 3.2.2 不同包碳方法处理得到的 LiFePO_4 材料 | 44 |
| 3.2.3 小结 | 46 |
| 3.3 前驱体中不同 LiOH 和 FePO_4 摩尔比合成的 LiFePO_4 材料 | 47 |
| 3.3.1 XRD结构分析 | 47 |
| 3.3.2 SEM形貌表征 | 48 |
| 3.3.3 电化学性能表征 | 48 |
| 3.3.4 FTIR结构分析 | 51 |
| 3.3.5 XPS表征 | 53 |
| 3.4 前驱体中不同 LiAc 和 FePO_4 摩尔比合成的 LiFePO_4 材料 | 55 |
| 3.4.1 XRD结构分析 | 55 |
| 3.4.2 SEM形貌表征 | 55 |
| 3.4.3 电化学性能表征 | 57 |
| 3.5 本章小结 | 58 |
| 参考文献 | 59 |
| 第四章 LiFePO_4合成反应的机理和动力学研究 | 61 |
| 4.1 引言 | 61 |
| 4.2 反应中间产物的检测和机理的探讨 | 62 |
| 4.3 合成反应动力学的研究 | 64 |
| 4.3.1 固气反应动力学基本理论 | 64 |
| 4.3.2 实验过程 | 68 |
| 4.3.3 动力学数据分析及模型拟合 | 70 |
| 4.3.4 反应速率常数和活化能的计算 | 73 |
| 4.4 小结 | 74 |
| 参考文献 | 75 |
| 攻读硕士学位期间发表的文章 | 76 |
| 致 谢 | 77 |

Table of Content

| | |
|--|------------|
| Abstract in Chinese..... | I |
| Abstract in English | III |
| Chapter 1 Introduction..... | 1 |
| 1.1 Brief introduction to lithium ion batteries | 1 |
| 1.1.1 Lithium ion battery history in brief..... | 1 |
| 1.1.2 Working principle and characteristics of lithium ion battery | 2 |
| 1.2 Electrode materials and electrolytes for lithium ion batteries | 3 |
| 1.2.1 Anode materials..... | 4 |
| 1.2.2 Electrolytes..... | 5 |
| 1.2.3 Cathode materials..... | 6 |
| 1.3 Progress on poly-anion cathode materials | 10 |
| 1.3.1 Characteristic of structure and performances..... | 10 |
| 1.3.2 Research status..... | 12 |
| 1.4 Progress on LiFePO₄..... | 17 |
| 1.4.1 Structure and characteristics of LiFePO ₄ | 17 |
| 1.4.2 Charge-discharge mechanism and intercalation of lithium ion in LiFePO ₄ | 18 |
| 1.4.3 Synthesis of LiFePO ₄ | 20 |
| 1.4.4 Modification of LiFePO ₄ | 22 |
| 1.5 Objectives and thesis structure | 25 |
| References | 26 |
| Chapter 2 Experiments, instruments and methods | 34 |
| 2.1 Synthesis of electrode materials | 34 |
| 2.1.1 Synthesis of LiFePO ₄ | 34 |
| 2.1.2 Synthesis of carbon coating materials..... | 35 |
| 2.2 Physical and chemical characterization of electrode materials..... | 35 |
| 2.2.1 Structural Characterization..... | 35 |
| 2.2.2 Morphological observation | 36 |
| 2.2.3 Analysis of carbon content | 37 |
| 2.2.4 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)..... | 37 |
| 2.2.5 X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)..... | 38 |
| 2.3 Electrochemical performance tests of electrode materials | 38 |
| 2.3.1 Electrode preparation | 38 |
| 2.3.2 Assembly of coin cells | 39 |
| 2.3.3 Charge-discharge tests..... | 40 |
| References | 40 |

| | |
|---|-----------|
| Chapter 3 Synthesis and characterization of LiFePO₄ | 41 |
| 3.1 Introduction | 41 |
| 3.2 Optimization of synthesis condition for LiFePO₄ | 41 |
| 3.2.1 LiFePO ₄ synthesized at different sintering temperatures | 41 |
| 3.2.2 LiFePO ₄ with different carbon coating methods | 44 |
| 3.2.3 Summary | 46 |
| 3.3 LiFePO₄ synthesized with different molar ratio of LiOH and FePO₄ in precursors | 47 |
| 3.3.1 Structural characterization by XRD | 47 |
| 3.3.2 Morphological observation by SEM | 48 |
| 3.3.3 Electrochemical characterization | 48 |
| 3.3.4 FTIR characterization | 51 |
| 3.3.5 XPS characterization | 53 |
| 3.4 LiFePO₄ synthesized with different molar ratio of LiAc and FePO₄ in precursors | 55 |
| 3.4.1 Structural characterization by XRD | 55 |
| 3.4.2 Morphological observation by SEM | 55 |
| 3.4.3 Electrochemical characterization | 57 |
| 3.5 Summary | 58 |
| References | 59 |
| Chapter 4 Reaction mechanism and kinetic study of LiFePO₄ synthesis | 61 |
| 4.1 Introduction | 61 |
| 4.2 Detection of intermediate and mechanism study | 62 |
| 4.3. Kinetic study of the synthetic reaction | 64 |
| 4.3.1 Basic theory of kinetics for solid-gas reaction | 64 |
| 4.3.2 Experiments | 68 |
| 4.3.3 Analysis of kinetic data and models fitting | 70 |
| 4.3.4 Calculation of reaction rate constant and activation energy | 73 |
| 4.4 Summary | 74 |
| References | 75 |
| Publications | 76 |
| Acknowledgements | 77 |

摘 要

随着新能源的开发利用和电子信息技术的迅速发展,人们对便携式能源的需求急剧增长,对锂离子二次电池的性能要求也越来越高。作为锂离子电池正极材料的橄榄石型 LiFePO_4 具有高比容量、平稳的放电平台(3.4V vs. Li^+/Li)、良好的循环稳定性和热稳定性、价格低廉和环境友好等优点,有望制成高功率型电池应用于电动车。由于 LiFePO_4 的制备工艺对其材料性能有很大的影响,因此深入研究制备过程的反应机理和动力学有助于使制备过程更加可控,更好地应用于工业生产。

本文首次采用一氧化碳气体还原三价铁前驱体的方法,制备出性能良好的磷酸铁锂正极材料,通过X射线衍射(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、充放电测试、傅里叶变换红外光谱(FTIR)和X射线光电子能谱(XPS)等表征方法考察了材料的结构特征、颗粒形貌和电化学性能等,用高温原位XRD方法对该合成反应的机理和动力学过程进行了初步探索。主要研究结果如下:

1. 由CO还原 FePO_4 和LiOH前驱体制备 LiFePO_4 正极材料,对烧结温度和包碳方式进行了优化。实验结果表明 550°C下合成的纯 LiFePO_4 经过 600°C包碳处理 2 小时得到的正极材料具有最好的电化学性能。还考察了不同LiOH和 FePO_4 初始比例对 LiFePO_4 材料的结构、形貌和电化学性能的影响,发现前驱体中适度过量的LiOH可有效地抑制高温煅烧过程中的锂损失,而不改变 LiFePO_4 稳定的晶相结构,因此合成时应适当提高前驱体中的锂盐比例。其中前驱体过量 5%LiOH合成的 LiFePO_4 材料颗粒较小约 200nm,电化学性能最佳,包碳后 0.1C放电容量可达 158mAh/g,且具有较好的倍率性能和循环性能。

2. 采用高温原位XRD的方法对该合成反应进行实时监控,通过对时间分辨图谱中各物相XRD特征峰变化的分析,检测到中间产物 $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ 。由此可推测该合成反应可能分两步进行,即LiOH和 FePO_4 先生成 $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$,而后CO再还原该中间体而得到最终产物 LiFePO_4 。同时将反应分数和产物的XRD特征峰峰面积相关联,研究其动力学行为。动力学方程的拟合结果表明,在我们所研究的反应体系中,成核与生长过程是合成反应的速控步骤,反应活化能为 89.44kJ/mol.

关键词：锂离子电池；磷酸铁锂；一氧化碳还原；高温原位 XRD；动力学

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

With the exploitation of new energy sources and the rapid development of electronic and information technology, the need for portable power sources increases rapidly, and the requirements for lithium ion batteries with high performances become urgent. As a cathode material for lithium ion batteries, lithium iron phosphate (LiFePO_4) with the olivine structure is a promising candidate of cathode materials for high-energy batteries used in electric vehicles because of its relatively high capacity, a perfectly flat voltage at 3.4V (vs. Li^+/Li), good cyclic stability and thermal stability, low cost and environmentally benign. Since the synthetic technology has great influence on the electrochemical performances of LiFePO_4 , investigation on the reaction mechanism and kinetic behavior during the formation of LiFePO_4 , will be helpful to the optimization of synthetic conditions and the application in mass production.

In this study, LiFePO_4 cathode material with good electrochemical performances was successfully synthesized by CO reducing Fe (III) precursor. The structure, morphology and electrochemical performances of such LiFePO_4 material were characterized by many research methods, such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), charge-discharge tests, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Temperature-programmed X-ray diffraction was employed to investigate the reaction mechanism and kinetics during the formation of LiFePO_4 . The main results are given as follows:

1. The sintering temperature of the reaction and carbon coating methods were optimized in this study. The results show that the materials synthesized at 550°C and then heated with sucrose at 600°C for 2h delivered the best electrochemical performances. The effects of LiOH and FePO_4 ratios in the precursor on the structure, morphology and electrochemical performances of the materials were studied. The results indicate that the addition of appropriately excessive lithium in precursors can

reduce Li loss effectively during the firing process, without changing the crystal structure of the products. It was demonstrated that the LiFePO_4 material synthesized with 5% excess of LiOH in the precursor exhibited the best electrochemical performances, and its particle size was about 200 nm. By carbon coating, it could deliver a reversible capacity of 158 mAhg^{-1} at 0.1C discharge rate and has good cycling ability and rate capability.

2. Temperature-programmed X-ray diffraction was employed to monitor the reaction during the formation of LiFePO_4 ; $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ was detected as an intermediate by analyzing the time-resolved XRD patterns. It was proposed that the overall reaction involves two steps: LiOH reacted with FePO_4 to form $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$, which is subsequently transformed to LiFePO_4 due to CO atmosphere. The kinetic behavior of the reaction was investigated by correlating the conversion ratio with integrated intensities of LiFePO_4 peaks in XRD patterns. The results reveal that nucleation and their growth is the rate-determining step in the process of the reaction we studied and the activation energy of this reaction is estimated to be 89.44 kJ/mol .

Keywords: Li-ion batteries; LiFePO_4 ; CO reduction; Temperature-programmed X-ray diffraction; Kinetics

第一章 绪 论

1.1 锂离子电池简介

1.1.1 锂离子电池的发展历程

进入二十一世纪以来,能源危机与环境污染成为人类社会可持续发展必须面对的两个严峻问题。随着新能源的开发和利用、环保意识的增强和电子信息技术的迅速发展,人们对便携式能源的需求急剧增长,对其性能要求越来越高。电池,尤其是二次电池,作为一种可以实现化学能和电能相互转化的器件,在现代社会中起到不可替代的重要作用。锂离子二次电池以其高能量密度、高电压、良好的循环性能和安全性能等优点成为世界各国竞相研发的热点^[1-4]。

锂电池一般指锂一次电池和锂二次电池。其中锂一次电池的研究始于 20 世纪 50 年代,当时主要集中在以金属锂及其合金为负极的锂二次电池体系。1987 年,加拿大 Moli Energy 公司向市场推出 Li-MoS₂ 锂金属二次电池,然而,1989 年 8 月该电池在日本电信电话公司汽车移动电话上发生的起火事故使锂金属二次电池几乎与危险品划上了等号。1990 年,日本 Sony 公司研制出采用石墨结构的碳材料代替金属锂作为负极,以 LiCoO₂ 为正极的第一个商品锂离子电池^[1],解决了长期困扰锂电池的锂枝晶问题,从而大大提高了电池的安全性,自此揭开了锂离子电池研究和应用的新篇章。

锂离子电池商业化的成功,引起了全世界的关注,大量的人力物力被投入到锂离子电池的研究和开发中,特别是在移动电话、笔记本电脑等便携式电子产品迅速发展的推动下,近几年来锂离子电池得到极大的发展,其产品总量持续快速增长,市场份额不断增加,销售总额已达 Ni-Cd 和 Ni-MH 电池的总和。目前锂离子电池同时向大型化和微型化两个方向发展^[2,5]: 大型电池主要用于电动汽车、航空航天、电网负荷调节等;微型电池主要用于微型机电设备和植入型电子医疗器件如心脏起搏器等。因此,研制和开发高比能量、价格便宜、安全可靠的新一代锂离子电池已成为化学电源研究领域的热点之一。

1.1.2 锂离子电池的工作原理和特点

锂离子二次电池的可充电性主要是依靠锂离子在正负极材料中嵌入与脱出^[3]。充电时(如图 1.1 所示)锂从氧化物正极晶格间脱出, 迁移通过锂离子传导的有机电解液后嵌入负极中, 同时电子的补偿电荷从外电路供给到负极, 保持负极的电荷平衡; 反之放电时, 锂从负极材料中脱出回到正极氧化物中。这种锂嵌入与脱出, 一般只引起层间距的变化, 而不会破坏晶体结构, 伴随充放电的进行, 材料的化学结构基本不会发生变化。因此, 从充放电反应的可逆性看, 锂离子电池反应是一种理想的可逆反应。

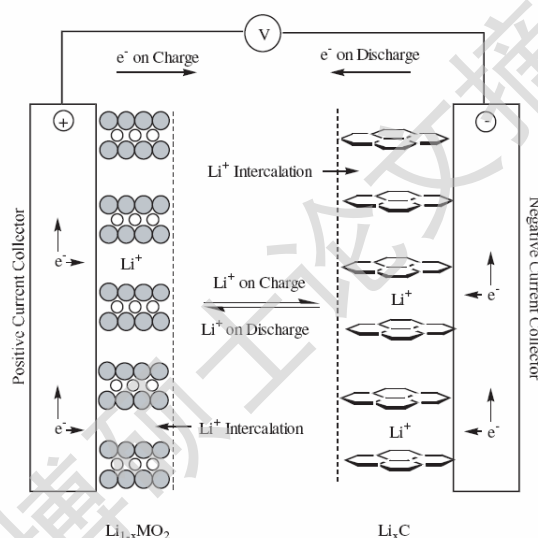
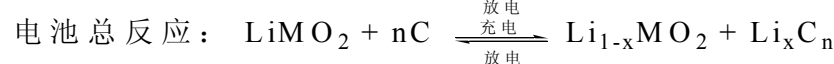
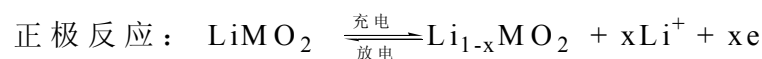
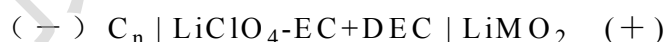


图 1.1 锂离子电池工作原理^[4]

以C/LiMO₂为例, 电极反应如下:



锂离子电池具有以下突出的优良特性^[2, 3]: [1]工作电压高: 商品锂离子电池的工作电压为 3.6 V, 是Ni-Cd、Ni-MH电池的 3 倍; [2]比能量大: 锂离子电池的比能量已经达到 180 Wh/kg, 是Ni-Cd电池的 3 倍, Ni-MH电池的 1.5 倍; [3]循环寿命长: 通常具有大于 1000 次的循环寿命, 在低放电深度下可以达到几次, 超过其它二次电池; [4]无记忆效应; [5]具有快速充电能力; [6]自放电率小, 月

自放电率为 2~3%；[7]具有多种安全保护措施；[8]密封良好，无泄漏现象。图 1.2 是几种二次电池的体积比能量和重量比能量比较^[4]。由此可见，锂离子电池是目前综合性能最好的二次电池体系。

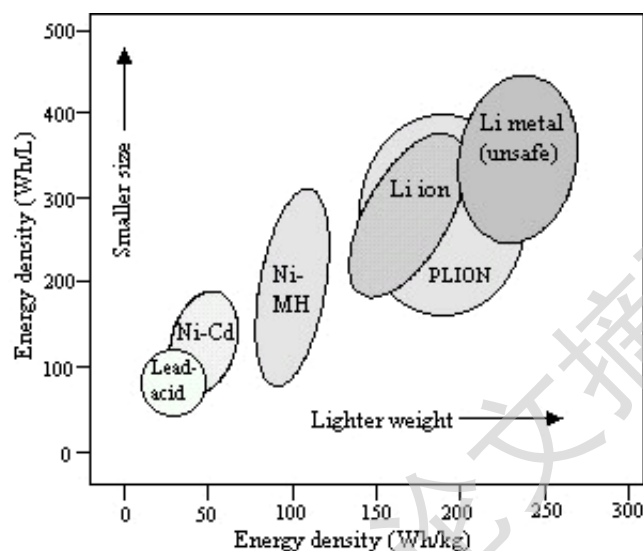


图 1.2 不同二次电池的体积能量密度和质量能量密度比较^[4]

1.2 锂离子电池材料

锂离子电池基本上都包括以下组成：正极材料、负极材料、电解液、隔膜、集流体、绝缘材料、密封材料、电池外壳以及一些用于安全保护的附属部件。其中，正负极材料及电解液组成是决定锂离子电池性能的关键因素。锂离子电池的发展过程，就是在各种各样的锂离子嵌入脱出材料以及能够传导锂离子的有机电解液或聚合物材料的不断研制和发明的推动下实现的。经过十多年的研究开发，锂离子电池的电极材料和电解液的种类得到极大的丰富，许多不同结构、性质、类别的无机和有机化合物被考虑应用于锂离子电池。图 1.3 显示了目前已经被采用和研究过或正在研究之中的锂离子电池正负极材料及其电位和容量的比较^[4]。

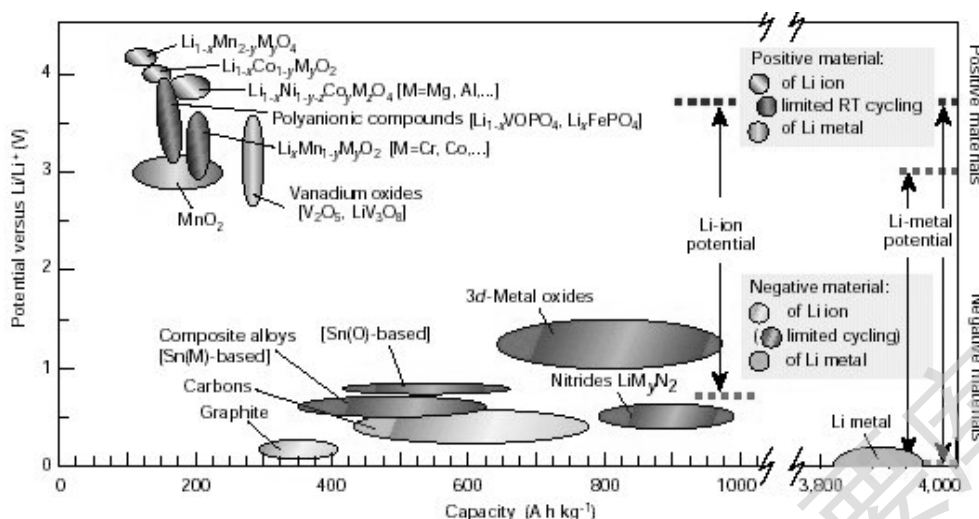


图 1.3 目前已经被采用和研究过或正在研究之中的锂离子电池正负极材料及其电位和容量的比较^[4]

1.2.1 负极材料

锂离子电池的研制成功，首先应归功于嵌锂碳材料的应用。1991 年，日本 Sony 公司用聚糠醇树脂（PFA, Polyfurfury Alcohol）热解炭（硬碳）作为负极制成了锂离子电池。与锂金属二次电池相比，锂离子电池由于采用了能可逆嵌脱锂离子形成锂碳插入化合物的碳材料代替金属锂作负极，避免了锂枝晶的生长，从而提高了电池的安全性和循环寿命。

碳负极对锂离子电池的性能有重要的影响，选用的碳负极材料应符合以下要求^[5]：（1）锂贮存量高；（2）锂在碳中的嵌入脱出反应快，即锂离子在固相内的扩散系数大，在电极/电解液界面的移动阻抗小；（3）锂离子在电极材料中的存在状态稳定；（4）在充放电循环中体积变化小；（5）电子导电性高；（6）在电解液中不溶解。

由于石墨化碳材料结晶度高、层状结构有序性好、具有较好的导电性，因而容易形成 Li_6C 锂-石墨层间插入化合物 Li-GIC ^[6-8]。其容量高（理论容量 372mAh/g），不可逆容量损失少（15-20%），可逆容量可以达到 300mAh/g 以上，循环性能良好。因此石墨化碳材料是目前广泛应用的商品化锂离子电池负极材料。石墨化碳材料首次不可逆容量损失主要来源于界面保护层（SEI）的形成，在于首次放电过程中电解液还原分解在石墨负极上形成 SEI 层，SEI 层的形成抑制了电解液的进一步分解^[9,10]。除了石墨类碳材料，目前已研究开发的锂离子电池

碳负极材料还有石油焦、碳纤维、热解炭、中间相沥青基炭微球 (MCMB)、炭黑和玻璃炭等。

新一代高性能的负极材料即非碳类负极材料的研究也引起了人们的极大兴趣。其中主要有锂合金和金属间化合物^[11,12]、氮化物^[13,14]、硅及硅化物^[15,16]、氧化物^[17-19]、硫化物^[20]、钒基化合物^[21-23]、钛铀矿型钒酸锰及钼酸锰^[24,25]等。这些非碳类负极材料虽然都具有非常高的首次放电容量,但是由于存在首次不可逆容量损失大,循环性能不理想或平均放电电位较高等问题,有待进一步的研究开发。

1.2.2 电解质

电解质是电池的一个重要组成部分,电解质的选择对锂离子电池的性能有着至关重要的影响。锂离子电池的电解液在电池中起传递 Li^+ 的作用,它必须能够在高达 4~5 V 的电位下保持稳定,因此非水有机体系的引入成为必然。作为实用锂离子电池的有机电解液应具备以下性能:

- 1) 锂离子电导率尽可能高;
- 2) 电化学稳定的窗口尽可能宽;
- 3) 良好的热稳定性,在尽可能宽的温度范围内保持溶液状态;
- 4) 不与集流体和电极材料发生化学反应;
- 5) 安全低毒;
- 6) 价格便宜。

锂离子电池所采用的电解质体系主要有:非水液体电解质、聚合物电解质及无机固体电解质。近年来,由于离子液体的独特性能,它在锂离子电池中的应用引起了人们的广泛关注,发展迅速^[26]。

电解液由电解质锂盐和有机溶剂组成。商品电池中已采用的锂盐主要有: LiBF_4 、 LiPF_6 、 LiClO_4 、 LiAsF_6 等。 LiPF_6 是目前商品化锂离子电池最常用的锂盐。 LiClO_4 虽然电导率高,但是氧化性强,因而很少采用; LiAsF_6 可以制得很纯,且不易分解,但由于砷的毒性问题而使其使用受到限制。此外,一些新的阴离子较大的锂盐如: LiCF_3SO_3 、 $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$ 、 $\text{Li}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2\text{N}$ 及 $\text{LiC}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$ 等正在研究中。近年来,由于 LiBOB 在碳材料上独特的成膜性能和高的稳定性等优点,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库